

# EUROPEAN PATENT OFFICE

## Patent Abstracts of Japan

PUBLICATION NUMBER : 2000054069  
PUBLICATION DATE : 22-02-00

APPLICATION DATE : 30-07-98  
APPLICATION NUMBER : 10228547

APPLICANT : NIPPON STEEL CORP;

INVENTOR : KUBOTA MANABU;

INT.CL. : C22C 38/00 C22C 38/50

TITLE : CARBURIZED MATERIAL EXCELLENT IN ROLLING FATIGUE CHARACTERISTIC

ABSTRACT : PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a carburized material capable of obtaining excellent rolling fatigue characteristic even in the case that high bearing is applied, further capable of stably inhibiting the occurrence of coarse grains at the time of high temperature carburizing, and suitable for high temperature carburizing.

SOLUTION: Relating to this carburized material excellent in rolling fatigue characteristic, the noncarburized zone has a chemical composition containing, by mass, 0.1-0.45% C, 0.35-1.3% Si, 0.3-1.8% Mn, 0.001-0.02% S, 0.015-0.04% Al, 0.005-0.04% Nb, 0.006-0.02% N and one or  $\geq 2$  kinds among 0.4-1.8% Cr, 0.02-1.0% Mo, 0.1-3.5% Ni, and 0.03-0.5% V, also containing P, Ti, and O in the amounts limited to  $\leq 0.025\%$ ,  $\leq 0.005\%$ , and  $\leq 0.002\%$ , respectively, and having the balance iron with inevitable impurities. Moreover, the austenite grain size of the carburized layer is No. 7 or above, the carbon content in the surface is 0.9 to 1.5%, and the amount of retained austenite in the surface is 25 to 40%, or further, the nitrogen content in the surface is 0.1 to 0.6%.

COPYRIGHT: (C)2000,JPO

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11) 特許出願公開番号  
特開2000-54069  
(P2000-54069A)

(43) 公開日 平成12年2月22日 (2000.2.22)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テームコード* (参考)
C 2 2 C 38/00	3 0 1	C 2 2 C 38/00	3 0 1 N
38/50		38/50	

審査請求 未請求 請求項の数2 F D (全 9 頁)

(21) 出願番号	特願平10-228547	(71) 出願人	000006655 新日本製鐵株式会社 東京都千代田区大手町2丁目6番3号
(22) 出願日	平成10年7月30日 (1998.7.30)	(72) 発明者	越智 達朗 室蘭市仲12番地 新日本製鐵株式会社室蘭製鐵所内
		(72) 発明者	蟹沢 秀雄 室蘭市仲12番地 新日本製鐵株式会社室蘭製鐵所内
		(72) 発明者	久保田 学 室蘭市仲12番地 新日本製鐵株式会社室蘭製鐵所内
		(74) 代理人	100105441 弁理士 田中 久喬

(54) 【発明の名称】 転動疲労特性に優れた浸炭材

(57) 【要約】

【課題】 本発明は、高面圧が負荷される場合においても、優れた転動疲労特性を得ることが可能であり、さらに、高温浸炭において粗大粒の発生を安定的に抑制することができる高温浸炭に適した浸炭材を提供する。

【解決手段】 非浸炭部の化学組成が、質量%として、C:0.1~0.45%、Si:0.35~1.3%、Mn:0.3~1.8%、S:0.001~0.02%、Al:0.015~0.04%、Nb:0.005~0.04%、N:0.006~0.02%を含有し、さらに、Cr:0.4~1.8%、Mo:0.02~1.0%、Ni:0.1~3.5%、V:0.03~0.5%の内の1種または2種以上を含有し、P:0.025%以下、Ti:0.005%以下、O:0.002%以下に制限し、残部が鉄および不可避免の不純物からなり、浸炭層のオーステナイト結晶粒度が7番以上であり、表面の炭素含有量が0.9~1.5%であり、表面の残留オーステナイト量が25~40%であり、またはさらに表面の窒素含有量が0.1~0.6%であることを特徴とする転動疲労特性に優れた浸炭材。

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 非浸炭部の化学組成が、質量%として（以下、同じ）、C：0.1～0.45%、Si：0.35～1.3%、Mn：0.3～1.8%、S：0.001～0.02%、Al：0.015～0.04%、Nb：0.005～0.04%、N：0.006～0.02%を含有し、さらに、Cr：0.4～1.8%、Mo：0.02～1.0%、Ni：0.1～3.5%、V：0.03～0.5%の内の1種または2種以上を含有し、P：0.025%以下、Ti：0.005%以下、O：0.002%以下に制限し、残部が鉄および不可避免的不純物からなり、浸炭層のオーステナイト結晶粒度が7番以上であり、表面の炭素含有量が0.9～1.5%であり、表面の残留オーステナイト量が25～40%であることを特徴とする転動疲労特性に優れた浸炭材。

【請求項2】 さらに、表面の窒素含有量が0.1～0.6%であることを特徴とする請求項1記載の転動疲労特性に優れた浸炭材。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、転動疲労特性に優れた浸炭材に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】軸受部品、転動部品のなかで特に高面圧が負荷される部品は、通常、例えばJIS G 4052、JIS G 4104、JIS G 4105、JIS G 4103などに規定されている機械構造用合金鋼を使用し、浸炭焼入れを行う工程で製造されている。近年、自動車部品等として使用される軸受部品、転動部品は、一層面圧の増加が指向され、転動疲労寿命の向上が強く求められている。

【0003】これに対して、これまで、鋼の清浄度を向上させることにより、軸受部品の高寿命化が図られてきた。これは、軸受部品の転動疲労破壊は非金属介在物が起点となると考えられているためである。例えば、日本金属学会報第32巻第6号441頁から443頁には偏心炉底出鋼、RH真空脱ガス等の組み合わせにより、酸化物介在物が低減し転動疲労寿命が向上することが示されている。しかしながら、特に高面圧が負荷される場合においては、上記の材料の高寿命化では、必ずしも十分ではないのが現実である。

【0004】なお、これらの高面圧が負荷される軸受部品、転動部品においては、高深度浸炭が行われる場合がある。高深度浸炭は、通常、十数時間から数十時間の長時間を要するために、省エネルギーの観点から、浸炭時間の短縮が重要な課題である。浸炭時間短縮のためには、浸炭温度の高温化が有効である。通常の浸炭温度は930℃程度であるが、これに対して、990～1090℃の温度域でいわゆる高温浸炭を行うと、粗大粒が発

生し、転動疲労特性等の必要な材質特性が得られないという問題が発生している。そのため、上記の転動疲労寿命の向上と同時に、高温浸炭でも粗大粒が発生しない、つまり高温浸炭に適した材料が求められている。

## 【0005】

【発明が解決しようとする課題】上記のような開示された方法では、高面圧が負荷される浸炭材において十分な転動疲労特性を得ることができない。さらに、高面圧が負荷される浸炭材について、高温浸炭により高深度浸炭を行って、十分な転動疲労特性を実現した先例はない。本発明はこのような問題を解決して、高面圧が負荷される場合においても、優れた転動疲労特性を得ることができる浸炭材を提供するものである。

## 【0006】

【課題を解決するための手段】本発明者らは、高面圧が負荷される場合においても優れた転動疲労特性を得ることができる浸炭材を実現するために、鋭意検討を行い、次の点を明らかにした。

【0007】(1) 高面圧が負荷される条件では、転動疲労過程において、転動部の下部で組織変化が起きる。組織変化の種類は、白色組織と炭化物組織の2種類である。白色組織の実態は、フェライトである。これらの組織が生成すると硬さが低下する。

【0008】(2) 転動疲労過程で、これらの白色組織、炭化物組織の生成を抑制し、硬さの低下を防止するためには、Siの増加が特に有効である。その他、Cr、Moの添加、増量も有効である。

【0009】(3) Siを高めた材料で、さらに、浸炭後の組織中の残留オーステナイト量を25～40%の範囲に制御すると、転動疲労過程での硬さの低下が抑制され、転動疲労寿命は向上する。これは、転動疲労過程で残留オーステナイトがマルテンサイト化することによる。

【0010】(4) 特定量のNbを必須元素として添加し、特定の条件で浸炭すると、転動疲労過程での硬さの低下が抑制され、転動疲労寿命は向上する。通常の浸炭における炭素ポテンシャルは0.8%であるが、上記のようにNb(CN)を多量析出させるためには、浸炭時の炭素ポテンシャルを0.9～1.5%の範囲で高めに設定する。これにより、浸炭加熱時に侵入してくる炭素および窒素と固溶Nbが反応して、浸炭層に微細なNb(CN)が多量に析出する。これらのNb(CN)が転動疲労過程での硬さの低下を抑制し、これにより転動疲労寿命は向上する。

【0011】(5) さらにまた、いわゆる浸炭浸窒処理を行い、表面の窒素濃度が0.1～0.6%の範囲になるようにすると、浸炭層に微細なNb(CN)が多量析出し、転動寿命は一層向上する。

【0012】(6) オーステナイト結晶粒度は転動疲労特性に影響し、転動疲労寿命を向上させるためには、

組織を微細する必要がある。

【0013】本発明は以上の新規なる知見にもとづいてなされたものであり、本発明の要旨は以下の通りである。

【0014】非浸炭部の化学組成が、質量%として（以下、同じ）、C:0.1~0.45%、Si:0.35~1.3%、Mn:0.3~1.8%、S:0.001~0.02%、Al:0.015~0.04%、Nb:0.005~0.04%、N:0.006~0.02%、を含有し、さらに、Cr:0.4~1.8%、Mo:0.02~1.0%、Ni:0.1~3.5%、V:0.03~0.5%の内の1種または2種以上を含有し、P:0.025%以下、Ti:0.005%以下、O:0.002%以下に制限し、残部が鉄および不可避的不純物からなり、浸炭層のオーステナイト結晶粒度が7番以上であり、表面の炭素含有量が0.9~1.5%であり、表面の残留オーステナイト量が25~40%であり、またはさらに、表面の窒素含有量が0.1~0.6%であることを特徴とする転動疲労特性に優れた浸炭材である。

【0015】

【発明の実施の形態】以下、本発明について詳細に説明する。

【0016】まず、非浸炭部の化学組成の限定理由について説明する。

【0017】Cは浸炭材の芯部、つまり非浸炭部の強度を増加させるのに有効な元素であるが、0.1%未満では強度が不足し、また、0.45%を越えると硬くなって加工性が劣化するとともに、浸炭材の芯部靱性が劣化し、また浸炭材の転動疲労強度に有用な圧縮残留応力が生じにくくなるため、含有量を0.1~0.45%の範囲内にする必要がある。加工性、および芯部靱性を重視する場合は、0.1~0.35%の範囲が好適である。また、短時間浸炭または高深度浸炭を指向する場合は、0.2~0.45%の範囲が好適である。

【0018】Siは鋼の脱酸に有効な元素であるとともに、転動疲労過程での組織変化を抑制し、硬さの低下を抑制して、高寿命化に有効な元素である。0.35%未満ではその効果は不十分である。一方、1.3%を越えると、硬さの上昇を招き加工性が劣化する。以上の理由から、その含有量を0.35~1.3%の範囲内にする必要がある。加工性を重視する場合には0.35~0.7%の範囲が好適である。

【0019】Mnは、焼入れ性の向上、および浸炭後の残留オーステナイト量の増加に有効な元素であるが、0.3%未満ではその効果は不十分であり、1.8%を越えるとその効果は飽和するのみならず、硬さの上昇を招き加工性が劣化する。以上の理由から、0.3~1.8%の範囲内にする必要がある。好適範囲は0.3~1.0%である。

【0020】Sは鋼中でMnSを形成し、これによる被削性の向上および組織の微細化を目的として添加するが、0.001%未満ではその効果は不十分である。一方、MnSの量が増大すると転動疲労寿命が劣化する。MnSによる悪影響は、S量が0.02%を超えると特に顕著になる。以上の理由から、Sの含有量を0.001~0.02%の範囲内にする必要がある。転動疲労特性に対するMnSの悪影響を極力低減する必要がある場合には、0.001~0.01%の範囲にするのが望ましい。

【0021】Alは脱酸元素および結晶粒微細化元素として添加する。特に、鋼中のNと結び付いてAlNを形成し、浸炭加熱の際に、結晶粒の微細化、及び結晶粒の粗大化抑制に有効な元素である。0.015%未満ではその効果は不十分である。一方、0.04%を越えると、AlNの析出物が粗大になり、結晶粒の粗大化抑制には寄与しなくなる。以上の理由から、その含有量を0.015~0.04%の範囲内にする必要がある。好適範囲は0.02~0.04%である。

【0022】Nbは、鋼中のC、Nと結び付いてNb(C、N)を形成し、浸炭加熱の際に、結晶粒の微細化、及び結晶粒の粗大化抑制に有効な元素である。また、炭素ポテンシャルを適正に制御すると、浸炭加熱時に侵入してくる炭素および窒素と固溶Nbが反応して、浸炭層に微細なNb(CN)が多量に析出し、これらのNb(CN)が転動疲労過程での硬さの低下を抑制し、転動疲労寿命の向上に寄与する。これらの効果は、0.005%未満では不十分である。一方、0.04%を越えると、素材の硬さが硬くなって加工性が劣化するとともに、Nb(C、N)の析出物が粗大になり、その個数が減少し、結晶粒の粗大化抑制には寄与しなくなる。以上の理由から、その含有量を0.005~0.04%の範囲内にする必要がある。好適範囲は0.01~0.03%である。なお、より高いレベルの転動疲労特性を得るためには、浸炭硬化層に、直径0.1μm以下のNb(CN)およびNb(CN)とAlNの複合析出物をその合計で150個/100μm<sup>2</sup>以上を有することが望ましい。ここで、本発明で言うNb(CN)はNbC、NbN及び両者が複合化したNb(CN)の3種類の析出物の総称として用いている。Nb(CN)の分散状態は、鋼材のマトリックス中に存在する析出物を抽出レプリカ法によって採取し、透過型電子顕微鏡で、3000倍で20視野程度観察し、直径0.1μm以下のNb(CN)の数を数え、100μm<sup>2</sup>あたりの数に換算することにより求めることができる。また、浸炭層に微細なNb(CN)を析出させるためには、浸炭の前に行われる熱間圧延あるいは熱間鍛造の工程において、熱間圧延加熱時あるいは熱間鍛造加熱時に、一旦Nb(CN)を完全に溶体化させることが有効である。

【0023】NはAlN、Nb(C、N)の析出による

浸炭時の結晶粒の微細化、及び結晶粒の粗大化抑制を目的として添加するが、0.006%未満ではその効果は不十分である。一方、0.02%を超えると、その効果は飽和する。過剰なNの添加は、素材の段階でAlN、Nb(C、N)を粗大化させるため、素材の硬さを増大させ、素材の加工性および浸炭材の転動疲労特性を劣化させる。以上の理由から、その含有量を0.006～0.02%の範囲内にする必要がある。好適範囲は0.009～0.02%である。

【0024】次に、本発明では、Cr、Mo、Ni、Vの内の1種又は2種以上を含有する。

【0025】Crは焼入れ性の向上、および浸炭処理後の残留オーステナイト量の増加に有効な元素である。さらに、転動疲労過程での組織変化、材質劣化の抑制による高寿命化に有効な元素である。また、Nbと同様に浸炭層にCrの炭窒化物を生成することによっても、転動疲労特性の向上に寄与する。これらの効果は、0.4%未満では不十分であり、1.8%を越えて添加すると硬さの上昇を招き加工性が劣化する。以上の理由から、その含有量を0.4～1.8%の範囲内にする必要がある。好適範囲は0.7～1.6%である。

【0026】Moも焼入れ性の向上、および浸炭処理後の残留オーステナイト量の増加に有効な元素である。また、転動疲労過程での組織変化、材質劣化の抑制による高寿命化に有効な元素である。また、Nbと同様に浸炭層にMoの炭窒化物を生成することによっても、転動疲労特性の向上に寄与する。0.02%未満ではその効果は不十分であり、1.0%を越えて添加すると硬さの上昇を招き冷間鍛造性が劣化する。以上の理由から、その含有量を0.02～1.0%の範囲内にする必要がある。好適範囲は0.02～0.5%である。

【0027】Niも鋼に強度、焼入れ性を与えるのに有効な元素であるが、0.1%未満ではその効果は不十分であり、3.5%を越えて添加すると硬さの上昇を招き加工性が劣化する。以上の理由から、その含有量を0.1～3.5%の範囲内にする必要がある。好適範囲は0.4～2.0%である。

【0028】Vも鋼に強度、焼入れ性を与えるのに有効な元素であるが、0.03%未満ではその効果は不十分であり、0.5%を越えて添加すると硬さの上昇を招き加工性が劣化する。以上の理由から、その含有量を0.03～0.5%の範囲内にする必要がある。好適範囲は0.07～0.2%である。

【0029】Pは加工性を劣化させる元素である。また、浸炭材の結晶粒界を脆化させることによって、疲労強度および転動疲労特性を劣化させるので、できるだけ低減することが望ましい。Pの悪影響はP量が0.025%を超えると特に顕著になるため、その含有量を0.025%以下に制限する必要がある。好適範囲は0.015%以下である。

【0030】Tiは硬質析出物TiNを生成し、これが転動疲労過程での組織変化の原因となる。あるいは、TiNが、直接転動疲労破壊の起点となる場合もある。さらに、TiNが存在すると、AlNやNb(CN)の析出サイトとなり、AlNやNb(CN)が粗大に析出する。そのため、浸炭時に結晶粒が粗大化を起し、また、Nb(CN)の微細分散による転動寿命の向上が期待できなくなる。特にTiが0.005%を超えるとその悪影響が顕著となるため、0.005%を上限とした。TiNによる悪影響を極力低減する必要がある場合には、Tiの含有量を0.0025%以下に制限するのが望ましい。

【0031】Oは鋼中でAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>のような酸化物系介在物を形成する。浸炭材においては、このような酸化物系介在物が転動疲労破壊の起点となるので、O含有量が高いほど転動寿命は劣化する。その悪影響は0.002%超で顕著になる。そのため、O含有量を0.002%以下に制限する必要がある。好適範囲は0.0015%以下である。

【0032】次に、本発明では、浸炭層のオーステナイト結晶粒度を7番以上とするが、このように限定した理由を以下に述べる。オーステナイト結晶粒度が粗大になると浸炭層の靱性が劣化し、転動疲労過程でき裂の発生と伝播が容易になる。特にこの傾向は、オーステナイト結晶粒度が7番未満で顕著になるので、7番以上に限定した。

【0033】次に、本発明では、表面の炭素含有量を0.9～1.5%とするが、このように限定した理由を以下に述べる。本発明の範囲でNbを含有している材料を特定の条件で浸炭すると、浸炭加熱時に侵入してくる炭素および窒素と固溶Nbが反応して、浸炭層に微細なNb(CN)が多量に析出し、これらのNb(CN)が転動疲労過程での硬さの低下を抑制する。これにより、転動疲労寿命は向上する。浸炭層に微細なNb(CN)を多量に析出させるためには、表面の炭素量が0.9%未満では不十分であるとともに、逆に、マトリックスのC量が低下し、硬化層の硬さがかえって低下するという現象を招く。一方、表面の炭素量が1.5%を超えると、オーステナイト粒界に沿って生成するネットワーク状のセメンタイトが顕著になる。以上の理由から、表面の炭素量を0.9～1.5%とした。好適範囲は0.9～1.3%である。なお、表面の炭素量を0.9～1.5%とするには、浸炭時の炭素ポテンシャルを0.9～1.5%の範囲で制御することにより可能である。なお、表面の炭素量の測定は、表面の部分から分析用試料を採取し、化学分析による方法か、またはEPMを用いることにより可能である。

【0034】次に、本発明では、表面の残留オーステナイト量を25～40%とするが、このように限定した理由を以下に述べる。浸炭材では、転動疲労過程で組織変

化を起こし、硬さが低下する。これに対して、転動疲労試験前の状態で残留オーステナイトを含有すると、転動疲労過程で残留オーステナイトがマルテンサイト化し、転動疲労過程での硬さの低下が抑制され、転動疲労寿命は向上する。この傾向は本発明の高Si鋼、Nb(CN)微細分散鋼において特に顕著である。以上の効果は表面の残留オーステナイト量が25%未満では小さい。一方表面の残留オーステナイト量が40%を超えると、その効果は飽和し、転動疲労試験前の状態での硬さが小さくなりすぎて、耐磨耗性の劣化が懸念される。以上の理由から、表面の残留オーステナイト量を25~40%とした。表面の残留オーステナイト量を本発明の範囲に制御するには、Cr、Mo等の鋼材組成、および浸炭条件を制御することにより可能である。

【0035】次に、本発明の請求項2では、表面の窒素含有量を0.1~0.6%とするが、このように限定した理由を以下に述べる。上記の通り、本発明の範囲でNbを含有している材料を特定の条件で浸炭すると、浸炭加熱時に侵入してくる炭素および窒素と固溶Nbが反応して、浸炭層に微細なNb(CN)が多量に析出し、これらのNb(CN)が転動疲労過程での硬さの低下を抑制する。これにより、転動疲労寿命は向上する。浸炭層に微細なNb(CN)を多量に析出させるためには、上記の通り、表面の炭素量を特定の範囲内に制御することが有効であるが、これに加えて、いわゆる浸炭浸窒処理を行うことが有効である。浸炭浸窒処理は、浸炭後の拡散処理の過程で浸窒を行う処理である。浸炭層に微細なNb(CN)を多量に析出させるためには、表面の窒素濃度が0.1未満では、効果が小さい。一方、表面の窒素濃度が0.6%を超えると、オーステナイト粒界に沿

って生成するネットワーク状のCr系の窒化物が顕著になる。以上の理由から、表面の窒素量を0.1~0.6%とした。好適範囲は0.2~0.5%である。なお、表面の窒素量の測定は、表面の部分から分析用試料を採取し、化学分析による方法か、またはEPMAを用いることにより可能である。

【0036】本発明の特徴のひとつである浸炭層に微細なNb(CN)を多量に析出させて転動疲労特性を向上させる方法として、浸炭焼入れ後、再加熱焼入れを行う方法が有効である。

【0037】また、本発明の浸炭材は、高温浸炭による浸炭処理が適している。つまり、本発明の浸炭材は、990℃~1090℃の温度域での高温浸炭のような厳しい条件での浸炭焼入れ熱処理においても、粗大粒の発生の抑制が可能となり、優れた転動疲労特性が得られる。但し、本発明では、本発明の要件以外の浸炭条件を特に限定するものではなく、本発明の要件を満足すればいずれの条件でも良い。

【0038】

【実施例】以下に、本発明の効果を実施例により、さらに具体的に示す。

【0039】(実施例-1)表1に示す組成を有する転炉溶製鋼を連続鋳造し、必要に応じて分塊圧延工程を経て162mm角の圧延素材とした。続いて、熱間圧延により、直径75mmの棒鋼を製造した。この棒鋼を素材として、熱間鍛造を行い直径64mmの鍛造丸棒に仕上げた。熱間鍛造の加熱温度は1150℃~1300℃である。

【0040】

【表1】

(wt%)															
区分	鋼水準	C	Si	Mn	S	Al	Nb	N	Cr	Mo	Ni	V	P	Ti	O
発 明 例	A	0.21	0.43	0.73	0.007	0.031	0.028	0.0180	1.14	-	-	-	0.013	0.0010	0.0007
	B	0.20	0.47	0.75	0.004	0.029	0.030	0.0174	1.07	0.16	-	-	0.014	0.0011	0.0009
	C	0.24	0.48	0.70	0.005	0.030	0.029	0.0171	1.16	0.31	-	-	0.012	0.0014	0.0007
	D	0.36	0.44	0.62	0.006	0.030	0.024	0.0154	1.03	0.17	-	-	0.013	0.0013	0.0008
	E	0.19	0.58	0.35	0.005	0.025	0.027	0.0130	1.25	0.18	-	-	0.014	0.0015	0.0008
	F	0.20	0.75	0.41	0.005	0.030	0.028	0.0172	1.24	0.25	-	-	0.012	0.0015	0.0009
	G	0.21	1.01	0.40	0.006	0.031	0.022	0.0142	1.38	0.19	-	-	0.009	0.0009	0.0008
	H	0.20	1.22	0.43	0.006	0.030	0.028	0.0148	1.29	0.26	-	-	0.012	0.0015	0.0007
	I	0.24	0.62	0.56	0.007	0.027	0.024	0.0151	1.43	0.22	-	-	0.015	0.0014	0.0009
	J	0.25	0.98	0.41	0.005	0.025	0.025	0.0163	1.44	0.23	-	-	0.013	0.0015	0.0007
	K	0.34	0.89	0.44	0.004	0.034	0.027	0.0114	1.44	0.23	-	-	0.014	0.0013	0.0008
	L	0.24	0.83	1.42	0.004	0.027	0.024	0.0154	1.43	-	-	-	0.014	0.0016	0.0008
	N	0.20	0.48	0.41	0.006	0.031	0.025	0.0093	1.42	0.20	-	-	0.016	0.0014	0.0009
	M	0.21	0.55	0.43	0.004	0.030	0.025	0.0172	1.41	0.49	-	-	0.014	0.0013	0.0007
	O	0.26	0.53	0.45	0.006	0.031	0.027	0.0179	1.43	0.48	-	-	0.015	0.0012	0.0009
	P	0.34	0.42	0.67	0.005	0.032	0.026	0.0168	1.45	0.42	-	-	0.010	0.0014	0.0008
	Q	0.20	0.43	0.44	0.007	0.030	0.027	0.0131	1.05	0.18	1.70	-	0.012	0.0013	0.0008
	R	0.20	0.47	0.45	0.005	0.029	0.028	0.0152	1.45	0.20	-	0.14	0.009	0.0015	0.0008
	S	0.51	0.44	0.71	0.005	0.031	0.030	0.0147	1.11	0.16	-	-	0.013	0.0013	0.0009
比 較 例	T	0.20	0.19	0.75	0.006	0.019	0.027	0.0174	1.08	0.15	-	-	0.014	0.0010	0.0008
	U	0.21	0.43	0.76	0.032	0.030	0.028	0.0180	1.12	0.18	-	-	0.013	0.0015	0.0009
	V	0.20	0.45	0.78	0.006	0.008	0.030	0.0147	1.07	0.17	-	-	0.013	0.0017	0.0007
	W	0.19	0.42	0.71	0.007	0.050	0.030	0.0144	1.10	0.19	-	-	0.017	0.0014	0.0009
	X	0.20	0.43	0.76	0.005	0.029	0.001	0.0157	1.11	0.20	-	-	0.015	0.0016	0.0008
	Y	0.21	0.45	0.72	0.005	0.028	0.059	0.0153	1.10	0.16	-	-	0.018	0.0015	0.0008
	Z	0.19	0.43	0.71	0.007	0.033	0.030	0.0043	1.09	0.19	-	-	0.016	0.0016	0.0009
	a	0.20	0.47	0.72	0.006	0.028	0.029	0.0231	0.98	0.18	-	-	0.015	0.0014	0.0007
	b	0.20	0.44	0.71	0.008	0.031	0.029	0.0172	1.07	0.20	-	-	0.018	0.0130	0.0008
	c	0.19	0.41	0.70	0.008	0.029	0.031	0.0160	1.03	0.17	-	-	0.017	0.0015	0.0029

上記の工程で製造した鍛造丸棒について、900℃×1時間加熱空冷の条件で焼入れを行った。その後、直径12.2mmの円柱状の転動疲労試験片を作成し、浸炭焼入れを行った。浸炭焼入れの条件を制御することによ

- I. 1000℃×8時間、炭素ポテンシャル1.0%
- II. 1000℃×8時間、炭素ポテンシャル1.25%
- III. 1000℃×8時間、炭素ポテンシャル0.8%
- IV. 1000℃×8時間、炭素ポテンシャル1.7%

【0042】焼入れ油の温度は、100℃～180℃である。焼戻しは180℃×2時間の条件である。

【0043】また、一部の熱間鍛造丸棒から採取した試験片については、上記の条件で浸炭焼入れ後、900℃×1時間加熱焼入れの条件で再加熱焼入れを実施した。

【0044】これらの浸炭焼入れ材について、オーステナイト結晶粒度(γ粒度)、残留オーステナイト量(残留γ量)等を調査した。表面の炭素量は、表面と表面から深さ0.1mmまで間の部分から分析用試料を採取し、化学分析により求めた。さらに、点接触型転動疲労試験機(ヘルツ最大接触応力5884MPa)を用いて

り、表面の炭素量、表面の残留オーステナイト量を制御した。浸炭処理は次の4条件のいずれかである。

【0041】

転動疲労特性を評価した。疲労寿命の尺度として、「試験結果をワイブル確率紙にプロットして得られる累積破損確率10%における疲労破壊までの応力繰返し数」として定義される $L_{10}$ 寿命を用いた。

【0045】これらの調査結果をまとめて、表2に示す。転動疲労寿命は比較例26(鋼水準T: JIS S C M 4 2 0 相当鋼)の $L_{10}$ 寿命を1とした時の各材料の $L_{10}$ 寿命の相対値を示した。

【0046】

【表2】



区分	鋼 No.	鋼 水準	浸炭条件	浸炭材の特性					
				$\gamma$ 粒度	表面の 炭素量%	最表層の 残留 $\gamma$ 量%	100 $\mu$ 当たり の析出物*の数	最表層 硬さHV	転動疲労寿命 (相対値)**
本発明 規定 範囲				$\geq 7$ 番	0.9~1.5	25~40			
第1 発明例	1	A	I	8.3	0.95	27	247	762	5.6
	2	B	I	8.2	0.95	27	269	758	5.8
	3	C	I	8.5	0.95	28	281	757	5.8
	4	D	I	8.3	0.95	27	283	760	6.1
	5	E	II	8.8	1.20	32	372	739	8.6
	6	F	II	9.1	1.22	33	346	737	9.2
	7	G	II	8.8	1.22	34	351	734	7.8
	8	H	II	8.9	1.21	33	367	735	8.7
	9	I	I	8.2	0.95	28	218	760	5.5
	10	J	I	8.3	0.94	27	242	761	5.9
	11	K	I	8.2	0.94	28	261	759	5.7
	12	L	I	8.1	0.95	27	238	756	6.1
	13	M	II	9.0	1.21	32	391	741	7.9
	14	N	II	8.9	1.23	33	368	736	8.5
	15	O	II	9.0	1.20	32	371	738	8.8
	16	P	II	8.8	1.22	32	357	739	8.5
	17	Q	II	8.9	1.18	31	364	742	8.3
	18	R	II	8.8	1.19	31	357	743	8.9
	19	B	I+再加熱焼入れ	9.5	0.95	26	324	781	10.3
	20	E	II+再加熱焼入れ	10.2	1.20	30	457	762	12.9
	21	J	I+再加熱焼入れ	9.7	0.94	25	330	783	10.4
	22	K	I+再加熱焼入れ	9.8	0.94	26	315	784	10.9
	23	L	I+再加熱焼入れ	9.6	0.95	26	343	780	11.3
	24	M	II+再加熱焼入れ	10.3	1.21	30	461	765	13.2
比較例	25	S	I	8.0	0.95	28	237	760	2.1
	26	T	I	8.2	0.95	27	261	761	1.0
	27	U	I	8.1	0.94	27	245	761	2.4
	28	V	I	2.9	0.95	28	261	760	2.6
	29	V	I	5.1	0.95	28	247	759	3.2
	30	X	I	5.4	0.95	27	239	760	2.4
	31	Y	I	6.0	0.95	28	261	759	3.5
	32	Z	I	2.5	0.95	28	255	759	1.9
	33	a	I	6.5	0.94	28	240	760	3.8
	34	b	I	4.6	0.93	28	231	761	0.9
	35	c	I	8.2	0.95	28	247	759	0.7
	36	B	III	7.4	0.75	19	112	772	4.2
	37	B	IV	7.6	1.65	36	341	732	3.7
	38	E	III	9.3	0.75	26	121	761	4.7
	39	E	IV	9.4	1.62	45	338	691	4.8摩滅が顕著

\*Nb (CN) およびNb (CN) とAlNの複合析出物 \*\*比較例26 (鋼水準T) の $L_{10}$ 寿命を1としたときの $L_{10}$ 寿命の相対値

表2に示した通り、本発明例では、 $\gamma$ 粒は8番以上の細粒であり、転動疲労寿命も比較例に比べて5倍以上と極めて良好である。

【0047】特に再加熱焼入れを行った材料は、 $\gamma$ 粒はさらに細粒になり、転動疲労寿命が顕著に向上している。これは、本発明例では、再加熱焼入れにより、Nb (CN) が一層多量微細分散するためである。

【0048】一方、比較例25はCの含有量が本発明規定の範囲を上回った場合であり、比較例26はSiの含有量が本発明規定の範囲を下回った場合であり、比較例27はSの含有量が本発明規定の範囲を上回った場合で

あり、いずれも、本発明例に比較して転動疲労特性は劣る。比較例28はA1の含有量が本発明規定の範囲を下回った場合であり、比較例29はA1の含有量が本発明規定の範囲を上回った場合であり、また、比較例30はNbの含有量が本発明規定の範囲を下回った場合であり、比較例31はNbの含有量が本発明規定の範囲を上回った場合であり、さらに、比較例32はNの含有量が本発明規定の範囲を下回った場合であり、比較例33はNの含有量が本発明規定の範囲を上回った場合であり、いずれもオーステナイト結晶粒が粗大であり、本発明例に比較して転動疲労特性は劣る。

【0049】比較例34、35は、Tiの含有量、Oの含有量が本発明規定の範囲を上回った場合であり、いずれも本発明例に比較して、転動疲労特性は劣る。

【0050】比較例36、38は、表面の炭素量、最表層の残留オーステナイト量的一方又は両者が本発明規定の範囲を下回った場合であり、いずれも本発明例に比較して、転動疲労特性は劣る。

【0051】比較例37、39は、表面の炭素量、最表層の残留オーステナイト量的一方又は両者が本発明規定の範囲を上回った場合であり、やはり、いずれも本発明

- V. 1000℃×8時間、炭素ポテンシャル1.0%、  
引き続いて870℃で浸炭処理。窒素濃度約0.25%狙い
- VI. 1000℃×8時間、炭素ポテンシャル1.15%、  
引き続いて870℃で浸炭処理。窒素濃度約0.45%狙い
- VII. 1000℃×8時間、炭素ポテンシャル1.15%、  
引き続いて870℃で浸炭処理。窒素濃度約0.70%狙い。

【0054】焼入れ油の温度は、100℃～180℃である。焼戻しは180℃×2時間の条件である。

【0055】また、一部の熱間鍛造丸棒から採取した試験片については、上記の条件で浸炭焼入れ後、900℃×1時間加熱焼入れの条件で再加熱焼入れを実施した。

【0056】これらの浸炭焼入れ材について、実施例-1と同様の調査を行った。表面の窒素量は、表面と表面から深さ0.1mmまで間の部分から分析用試料を採取

例に比較して、転動疲労特性は劣る。

【0052】(実施例-2) 実施例-1でと同じ手順で、直径12.2mmの円柱状の転動疲労試験片を作成し、浸炭焼入れを行った。浸炭焼入れの条件を制御することにより、表面の炭素量、表面の窒素量、表面の残留オーステナイト量を制御した。浸炭処理はいずれもいわゆる浸炭浸窒処理であり、次の4条件のいずれかである。

【0053】

- し、化学分析により求めた。
- 【0057】これらの調査結果をまとめて、表3に示す。転動疲労寿命は、実施例-1と同様に、表2の比較例26(鋼水準T; JIS SCM420相当鋼)の $L_{10}$ 寿命を1とした時の各材料の $L_{10}$ 寿命の相対値を示した。

【0058】

【表3】

区分	鋼No.	鋼水準	浸炭条件	浸炭材の特性						
				γ粒径	表面の炭素量%	表面の窒素量%	最表層の残留γ量%	100μm当たりの析出物*の数	最表層硬さHV	転動疲労寿命(相対値)**
本発明規定範囲				≥7番	0.9~1.5	0.1~0.6	25~40			
第2発明例	41	A	V	8.7	0.97	0.23	32	339	740	8.4
	42	B	V	8.6	0.96	0.24	34	346	737	9.2
	43	C	V	9.0	0.96	0.24	33	375	738	8.5
	44	D	V	8.8	0.97	0.23	32	358	743	9.3
	45	E	VI	9.4	1.14	0.42	37	487	729	12.8
	46	F	VI	9.7	1.12	0.42	38	469	721	13.5
	47	G	VI	9.5	1.15	0.43	39	455	723	12.2
	48	I	V	8.6	0.96	0.24	32	324	742	8.6
	49	J	V	8.8	0.96	0.23	33	339	740	9.4
	50	K	V	8.6	0.96	0.24	32	361	748	9.1
	51	M	VI	9.6	1.15	0.40	38	462	725	12.4
	52	O	VI	9.5	1.14	0.43	38	485	724	13.2
	53	P	VI	9.4	1.13	0.42	37	467	722	13.7
	54	Q	VI	9.5	1.12	0.41	39	493	726	13.4
	55	R	VI	9.4	1.12	0.42	39	474	724	14.1
	56	B	V+再加熱焼入れ	9.6	0.96	0.24	31	451	738	12.1
	57	E	VI+再加熱焼入れ	10.3	1.14	0.42	34	579	737	14.3
	58	J	V+再加熱焼入れ	9.7	0.96	0.23	31	442	753	14.3
	59	K	V+再加熱焼入れ	9.5	0.96	0.24	30	460	751	13.8
	60	M	VI+再加熱焼入れ	10.4	1.15	0.40	36	586	732	16.7
比較例	61	B	VI	8.9	1.13	0.67	37	471	721	4.7
	62	E	VI	9.6	1.14	0.66	36	486	735	4.5

\*Nb(Cr)およびNb(Cr)とAlNの複合析出物

\*\*比較例26(鋼水準T)の $L_{10}$ 寿命を1としたときの $L_{10}$ 寿命の相対値

表3に示した通り、本発明例では、γ粒は8番以上の細粒であり、転動疲労寿命も比較例に比べて5倍以上と極めて良好である。

【0059】一方、比較例61、62は、表面の窒素量が本発明規定の範囲を上回った場合であり、いずれも本

発明例に比較して、転動疲労特性は劣る。これは、表面の粒界に沿ってネットワーク状の窒化物が生成したことが主原因である。

【0060】

【発明の効果】本発明の転動疲労特性に優れた浸炭材を

用いれば、高面圧が負荷される場合においても、優れた転動疲労特性を得ることができる。さらに、高面圧が負荷される浸炭材について、高温浸炭を行っても、十分な

転動疲労特性を実現することができる。以上のように、本発明による産業上の効果は極めて顕著なるものがある。

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**